

地震に関連した地下水の水質変動を 客観的に評価する一方法

小泉 尚嗣・吉岡 龍馬・岸本 兆方

AN OBJECTIVE METHOD TO JUDGE CHANGES OF THE CHEMISTRY OF GROUNDWATER IN RELATION TO EARTHQUAKES

By Naoji KOIZUMI, Ryuma YOSHIOKA and Yoshimichi KISHIMOTO

Synopsis

We have maintained that the chemistry of a hot spring can give an effective precursor by showing the time variation of chloride ion content in Shiota hot spring near the Yamasaki fault. But it was somewhat problematical to judge objectively what was the change in relation to earthquakes.

In this paper we analysed high frequency components of the data by applying a simple model and a prediction filter proposed by Ishii (1976) in order to solve this problem. And we have got a good result.

This method has two advantages. It is easy to use and its physical meaning is relatively clear.

1. はじめに

筆者らは、温泉水の水質が、地震予知の手段としてきわめて有望であるということを提示してきた¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。しかし、その中で行ってきた地震現象に関連した水質の異常の認定は、客観性という点で十分なものではなかった。また、水質の異常の定量化も行うには至らなかった。

そこで、この問題を解決するために、Ishii (1976)⁵⁾ の開発した予測フィルターを用い、水質の短周期の変化に注目して解析を行ったところ、満足すべき結果を得ることができた。また、この手法は、地震現象との対応性を考えている他の地球化学的な諸観測量の解析にも、十分適用できると考えられるので、ここに報告する。

2. 解析のための前提条件

2.1 モデル

断層および断層破砕帯の周辺に温泉が存在し、それらに応力が集中して地震が発生する場合を考える (Fig. 1)。破砕帯は、一般に不均質であると考えることができる。それゆえ、茂木が指摘するように⁶⁾、破砕帯の主破壊である地震が起こる前に、微小な破壊や変形が、地震の起こる場所とは別な場所に起こり得る。このプレサイスミックな微小破壊や変形が、温泉水の水質の生成機構に影響を与え、増幅された形で、温泉水の水質変化となり、比較的容易にその変化が把握できるようになるというのが、筆者らの基本的な考え方である。

そのような微小な破壊や変形は、コサイスミックにも、と

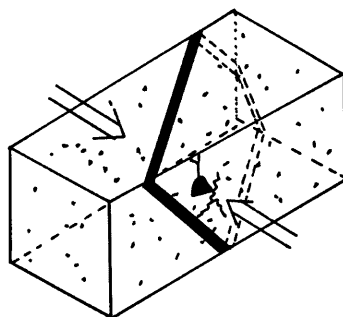


Fig. 1 Schematic figure of a fault and fractured zone, with a hot spring where stress is concentrated

きには、ポストサイスミックにも起こり得る。それゆえ本論文では、種々の事例をみるために、プレサイスミックな水質変化だけでなく、コサイスミックおよびポストサイスミックな変化も、扱うことにする。

2.2 短周期の水質変化に注目する理由

地震に関連していると考えられることのできる Cl^- 濃度の変化には (Fig. 3), 短周期の成分がかなり含まれている。他の地球化学的な手法による観測でも、このような地震に関連して発生する短周期の変化が、報告されている⁷⁾⁸⁾。中国の水中 R_2 濃度観測においては、地震の直前にスパイク状の変化があるとも報告されている⁹⁾。

したがって、異常現象というものの性格をはっきりさせるという点のみならず、地震の短期予知をめざすという観点からも、短周期の変化にまとを絞って解析を行うことは、合理的であると考えられる。

2.3 観測量との対応を考える地震

筆者らのモデルの制約上、原則として、観測点近傍の地震と観測量との対応を考える必要がある。ここでは、山崎断層の塩田温泉における Cl^- 濃度のデータを解析対象に使用したので、これとの対応を考える地震を、以下にのべるものに限定する。

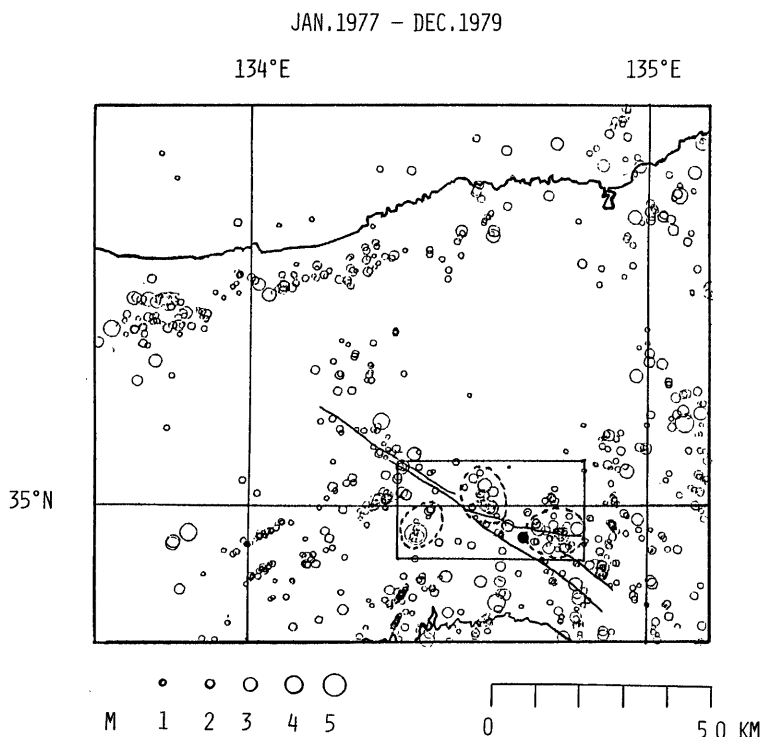


Fig. 2 Microearthquake distribution near the Yamasaki fault. A solid circle represents position of Shiota hot spring. Three areas enclosed with dashed lines are those where epicenters concentrate near Shiota hot spring. We think stress field in the boxed area has much effect on the chemistry of Shiota hot spring.

山崎断層周辺の微小地震分布には、いくつかの地震の密集域を認めることができる¹⁰⁾。そこで、これらの密集域のうち、塩田温泉近傍のもの3つを含む領域を定め (Fig. 2)、その領域内でおこるマグニチュード3.5以上の地震を、 Cl^- 濃度のデータとの比較の対象として考察した。また、塩田温泉での Cl^- 濃度の観測期間中に北近畿・中国地方でおこった、マグニチュード6以上の2つの地震も、上述の領域外でおきたものではあるが、対象に加えた。その理由は、地震の規模が大きいので、その応力集中の範囲が、上述の領域にまでおよぶと推定したからである。

筆者らが、この論文で Cl^- 濃度との対応を考えた地震を Table 1 に示す。なお、これらの地震のデータのうち、No. 2 の地震のデータは JMA によるものであり、それ以外は京都大学防災研究所鳥取微小地震観測所の観測結果によるものである。また、解析対象の塩田温泉の Cl^- 濃度は、通常の降水の影響をほとんど受けない。さらに、塩田温泉が自噴泉であるので、人工的な掘水による影響も考慮する必要のないデータである¹⁾³⁾。

Table 1 List of earthquakes studied in this paper. The origin of the coordinates is (134°30'00"E, 35°00'00"N).

No.	Date			Origin time		Hypocentral coordinates (km)			Magnitude
	Y	M	D	h	m	x	y	h	
1	1977	9	30	16	23	9.7	0.5	17.8	3.7
2*	1978	6	4	5	3	-164.1	10.7	0.0	6.1
3	1979	10	13	16	30	26.2	-5.6	11.1	4.3
4	1979	12	28	23	54	-6.6	-5.3	15.3	4.9
5	1980	1	2	22	39	26.6	-6.5	12.1	3.9
6	1980	10	13	2	11	23.4	-8.4	8.6	3.5
7	1983	10	31	1	52	-52.1	47.4	10.1	6.2

* after JMA

3. 解析と結果・考察

Ishii (1976)¹¹⁾ の開発した予測フィルターを用いて解析を行う。1日1回の測定を行っている Cl^- 濃度の時系列中、30日分のデータをチェビシェフの1次の多項式で近似し、それを外挿して5日先のデータを予測する。この操作を、1日ずつずらして順次行う。実測値を O, 予測値を P とし、予測誤差 $O-P$ を E とする。(これは、30日程度なら直線で近似できる長周期の成分を取り除いていることを意味する。) 観測期間中で、塩田温泉周辺の微小地震活動が最も低かった1981年8月1日からの1年間の E の標準偏差 σ を求め、その定数倍 $k\sigma$ を異常の目安とする。すなわち、E が $\pm k\sigma$ を越えて変化する場合を異常とみなすのである (以後、この $\pm k\sigma$ を便宜上、トリガーレベルと呼ぶ)。ただし、P は O から位相が遅れて変化する性質をもつので、1つの異常値を検出したあと、 $O-P$ である E に見かけ上の異常値が出現する場合があり、それは除去している。

Fig. 3 には、 $k=6$ とした場合を示している。矢印はトリガーレベルを越えて E が変化した場所を示す。矢印について、pr, co, po の印は、それぞれプレサイスミック、コサイスミック、ポストサイスミックな異常であると、筆者らが判定したものである。? の印は、その判定がむずかしい場合を示す。異常と認定された Cl^- 濃度の変化と、上述の地震とはよく対応している。また、k の値を変えた場合に、同様に検出された Cl^- 濃度の異常の数が、どの程度上述の地震と対応づけられるかを Table 2 に示す。k の値を小さくして、トリガーレベルを下げると、異常の検出例が増加するものの、その中で、上述の地震と対応しないものの数も増加する。すなわち、地震に関連した Cl^- 濃度の異常の程度が、k の値によって、ある程度定量化

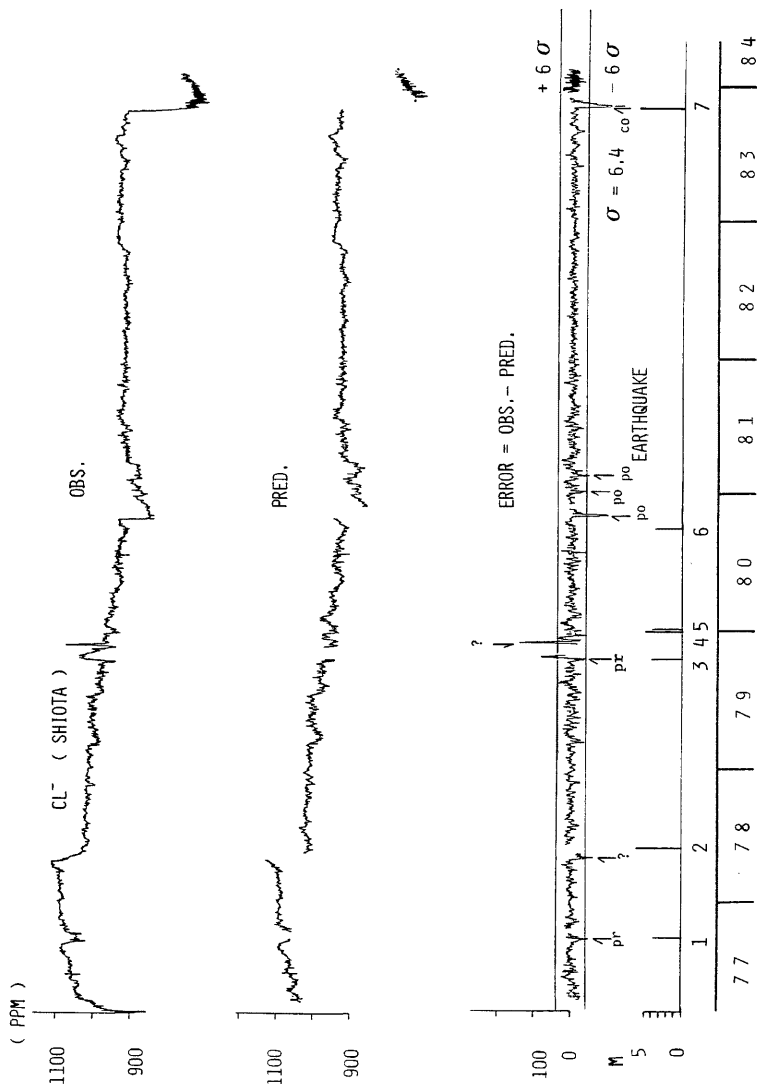


Fig. 3 From top to bottom, observed values of chloride ion content in Shiota hot spring, the predicted values, the prediction error, and earthquakes. Arrows indicate points where the prediction error exceeded the trigger level ($= \pm 6\sigma$, σ : standard deviation of the prediction error for one year since Aug. 1981, when the seismicity near Shiota hot spring is the least active). These changes are considered anomalous.

pr: pre-seismic change *co*: coseismic change *po*: post-seismic change ? : change difficult to judge

されていることがわかる。

温泉水の水質の短周期の成分に注目することで、このように有意な結果が得られることは興味深い。一般に、地下水の流速が小さいことや、拡散の効果も考えると、このような水質の短周期の変化の直接の原因がごく浅い所にあることは間違いない。したがって、2.1のモデルの節で述べた、地震前後の微小な破壊や変形が、少くとも塩田温泉周辺では、ごく浅い所でおっていると筆者らは考えている。

Table 2 Number of anomalous changes of chloride ion content in Shiota hot spring when the trigger level k changed

Trigg. level	Type of anomalous changes				total
	pr	co and po	?	x	
4σ	2	6	3	5	16
5σ	2	4	2	3	11
6σ	2	4	2	0	8

 pr : preseismic change co : coseismic change po : postseismic change

?: change difficult to judge

 x : change judged to have no relation to earthquakes

4. お わ り に

昭和50年7月の第3次地震予知計画の一部見直しの際に、地球化学的手法が、地震予知の手段として取り上げられ、本格的に研究されはじめて10年目を迎える。しかし、物理的破壊現象とみなされる地震と、地球化学的諸現象との相互関係を示すのは困難であり、地震発生に関連しているとされた地球化学的諸観測量の異常（以後、単に地球化学的異常と呼ぶ）の物理的意味は、明らかにされるには至っていない。それが、地球化学的異常の客観化、定量化への妨げにもなっている。発表当初は、総合的な地震予知理論かと思われたダイヤランシーウエットモデルにしても、種々の疑問が投げかけられているのが現状である¹¹⁾。

その一方で、中国での地震予知の成功が示すように、地球化学的手法が、地震予知の手段として有望であることも確かである。

このような中で、本論文では、第一次近似としてごく簡単なモデルを考え、予測フィルターを使用して、地球化学的異常の客観化と定量化を図るとともに、その物理的意味を明らかにすることも試みた。今後は、山崎断層で行われている、伸縮計による歪の連続観測²⁾の結果との比較等により、モデルの検証および改良を行っていく予定である。

5. 謝 辞

塩田温泉での観測に積極的に協力して下さっている知新荘と上山旅館の方々に深く謝意を表したい。予測フィルターの使用に関しては、東北大学理学部の石井紘博士と防災研究所の入倉孝次郎博士に、有益な助言をいただいた。防災研究所の微小地震部門の方々に、多くの有益な助言をいただいた。以上の方々に、心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 吉岡龍馬：山崎断層、塩田温泉の塩素濃度の変化と地震、地震予知研究シンポジウム（1980）、1980、pp. 159-162.
- 2) Kishimoto, Y.: On Precursory Phenomena Observed at the Yamasaki fault, Southwest, Japan, as a Test-field for Earthquake Prediction, EARTHQUAKE PREDICTION — An International Review Maurice Ewing Series 4, 1981, pp. 510-516.
- 3) 小泉尚嗣：山崎断層・塩田温泉の水質変動と地震、1983、京都大学理学研究科修士論文。
- 4) Yoshioka, R., N. Koizumi, and K. Kitaoka: Relation between Temporal Variations of Chemical Species in Mineral Springs And Small Earthquakes — A Case Study in Shiota Mineral Spring in Hyogo Prefecture, Japan —, Extended Abstracts — Fourth International Symposium on Water-Rock Interaction, 1983, pp. 551-554.

- 5) Ishii, H.: Application of Prediction Method for Analysis of Crustal Movement, 測地学会誌, 第 22 卷, 第 4 号, 1976, pp. 299-301.
- 6) 茂木清夫: 日本の地震予知, サイエンス社, 1982, pp. 18-29.
- 7) Wakita, H., Y. Nakamura, K. Notsu, M. Noguchi and T. Asada: Radon Anomaly: a Possible Precursor of the 1978 Izu-Oshima-Kinkai Earthquake, Science, Vol. 207, 1980, pp. 882-883.
- 8) 杉崎隆一・井戸正彦・武田 浩・磯部由美子・佐竹 洋・林 義光・中村則明・水谷義彦: 活断層より放出されるガス(2) 水素について—断層ガスの化学的特徴と断層活動—, 地震 2, 第 37 卷, 1984, pp. 55-65.
- 9) 王長岭・姚庆春・龍 明: 松潘—平武地震前の震央北方地域の泉点における地下水中のラドン濃度異常とその原因に関する研究, 中国における地球化学的地震予知研究, 地殻化学実験施設彙報, 第 2 号, 1981, pp. 62-71.
- 10) 佃 為成・中尾節郎: 東中国・北近畿地方における微小地震系列の研究 (I), 地震 2, 第 29 卷, 1976, pp. 395-410.
- 11) 茂木清夫: Dilatancy Water Diffusion Model の根拠とされたデータの再検討, 地震学会講演予稿集, No. 1, 1984, p. 241.